

TARİHİ SANGARIUS KÖPRÜSÜNDE HASAR BELİRLENMESİ ve GÜÇLENDİRME ÖNERİLERİ

Zeki ÖZCAN

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya
Tel: +90 264 295 57 30 E-mail: ozcan@sakarya.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, tarih ve kültür varlıklarının yaşatılması düşüncesi ile Sakarya nehri eski yatağı üzerinde bulunan Tarihi Sangarius köprüsü incelenmiştir. Erken Bizans dönemine ait kemerli taş köprü tarzında yapılmış olan bu yapı ender kültür varlıklarındandır. Köprü, Sakarya nehrinin yatak değiştirmesinden sonra kuru bir vadide kalmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından onarımı yapılarak taşıt trafiğine kapatılmıştır.

Çalışma kapsamında, köprü gövdesi ve eklentileri detaylı olarak incelenerek belirlenen hasarlar sınıflandırılmıştır. Gövdede gözlenen en önemli hasar doğu ucundaki büyük kemerin, kilit taşındaki bozulma ve düşey doğrultudaki ayrılmalardır. Bu bölümde bulunan kesme taştan yapılmış parapetlerde hareketler, zeminde yapılan gözlemlerde de kuzey-güney doğrultusunda hareketlere rastlanmıştır. Kalın alüvyon tabakası içinde kalan ayak derinlikleri de dikkate alınarak üretilen yapının 3B sonlu eleman modeli ile zaman tanım alanında davranışı incelenmiştir. Yapının deprem davranışından elde edilen sonuçlar ile belirlenen hasar birlikte değerlendirilmiştir.

Köprü gövdesinde belirlenen hasarların onarımı ve güçlendirmesi için, kısmi yenileme ve paslanmaz çelik çubuk yatay gergilerin kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışma, bu yapının deprem davranışını belirlemek ve alınabilecek önlemleri göstermesinin yanı sıra, tarihi mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması çalışmalarına da katkı sağlayacaktır.

Giriş

Tarihi yapılar geçmiş ile geleceği kuvvetle bağlayan paha biçilmez kültürel varlıklarımızdır. Bu eserlerle medeniyetlerin değişimleri ve birikimleri anlaşılabilir. Tarihi köprülerin bütün medeniyetlerde çok önemli bir yeri vardır. Köprüler aynı zamanda, toplumların mühendislik birikimleri, sanat anlayışları ve ekonomik durumlarının da birer göstergesi olmuştur.

Bu çalışmada, Sakarya nehri eski yatağı üzerinde bulunan Sangarius Köprüsünün ve etrafındaki ek yapıların kısa tarihçesi, geometrik ve fiziksel özellikleri verildikten sonra köprü gövdesindeki hasar türleri ve sebepleri belirlenmiş, güçlendirme önerileri sunulmuştur. Yapılan araştırma ile bu konudaki eksikliği gidermek, köprünün koruma ve restorasyonuna katkı sağlayacak verilerin belirlenmesi ve benzer yapılara ilişkin fikirlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Sangarius Köprüsü

Erken Bizans döneminin önemli eserlerinden sayılan köprü imparator Justinian (MS.523-567) tarafından MS.558-562 yılları arasında yaptırılmıştır. Bu köprü imparatorun ismi ile *Jüstinien köprüsü* olarak da anılmaktadır. Texier, köprünün MS.560 da, eski ahşap bir köprünün yerine, nehir yatağı değiştirilerek yapıldığını ifade etmektedir (Ramsey, 1889). Whitby, (1985) ise köprünün MS.562'de tamamlanmış olabileceğini vurgular.

Köprü, Sakarya şehir merkezinin 5 km güney-batısında, eski nehir yatağının en dar yerine inşa edilmiştir (Şekil 1). Sakarya Nehri 13. yüzyılda büyük bir sel ile yatak değiştirmesine kadar yaklaşık 700 yıl buradan akmış, selden sonra 3 km daha doğuda olan bugünkü yatağına yerleşmiştir. Köprü bugün Sapanca gölünün deşarjı olan Çark suyunun (Melas) bir gözünden aktığı kuru bir vadide kalmıştır.



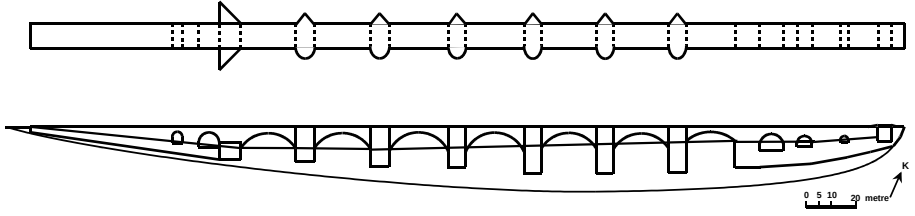
Şekil 1. Köprünün kuzeyden ve uydudan görünüşü

Köprü ayaklarının büyük kısmı kalın bir alüvyon tabakası içinde gömülü durumdadır (Şekil 2). Yapının zemin yüzünden maksimum yüksekliği 9 m, gövde uzunluğu 357 m, batı ucundaki zafer takı ve doğu ucundaki apsisli yapı ile birlikte toplam uzunluğu 375 m'dir. Köprü genişliği ise 10 m'dir (Şekil 3). Köprü gövdesi, çift sıra kesme taş ile düzenlenmiş 7 ana kemer ve tek sıra kesme taş ile düzenlenmiş 5 tali kemerden oluşmaktadır. Köprünün bütün kemerleri dairesel (tek eğrilikli) formdadır. Büyük açıklıklı kemerler 6 adet ayak üzerine oturtulmuştur (Şekil 3). Köprü ayakları güney cephede yuvarlatılmış (yarım daire), kuzey cephede ise sivri (üçgen) formda düzenlenmiştir. Nehrin batı sahilinde, taşkınlarla karşı üçgen formda sel yaranlar inşa edilmiştir. Köprü, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından, 1990-1995 yılları arasında yapılan onarımdan sonra taşıt trafiğine kapatılmıştır (Şekil 4) (Özcan, 2004).

Kalın alüvyon tabakası içinde gömülü bulunan köprü ayaklarının tahmini derinliği ve vadi taban geometrisi sismik kırılma ve yansıma yöntemleri ile araştırılmıştır. Bölge sit alanı olduğu için derin kazı ve tahribatlı deneyler yapılamamıştır. Köprü ayak derinliklerinin zemin yüzünden 7.5-12.0 m arasında değiştiği değerlendirilmiştir (Özcan, 2006).



Şekil 2. Köprü gövdesi ve kuru nehir yatağı (Güney cephe)



Şekil 3. Köprü gövdesi plan ve boy kesiti



Şekil 4. Köprü gövdesinin genel görünüşü (doğu-batı doğrultusu)

Apsisli Yapı ve Zafer Takı (Kapısı)

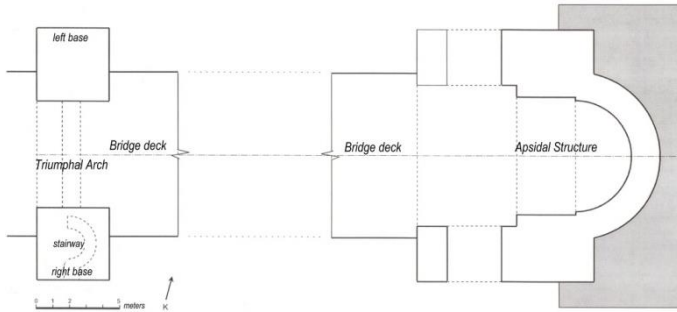
Köprünün doğu ucunda kontrol kapısı niteliğinde apsisli bir yapı mevcuttur. Yapının üzeri 6.30 m çapında, kesme taştan yarı kubbe ile örtülüdür. İzmit Müze Müdürlüğü tarafından 1988 yılında yapılan kazılarda köprünün batı ucunda zafer takının (kapısı) temelleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5 ve 6) (Can, 1988).

Tonozlu Koruma Yapıları

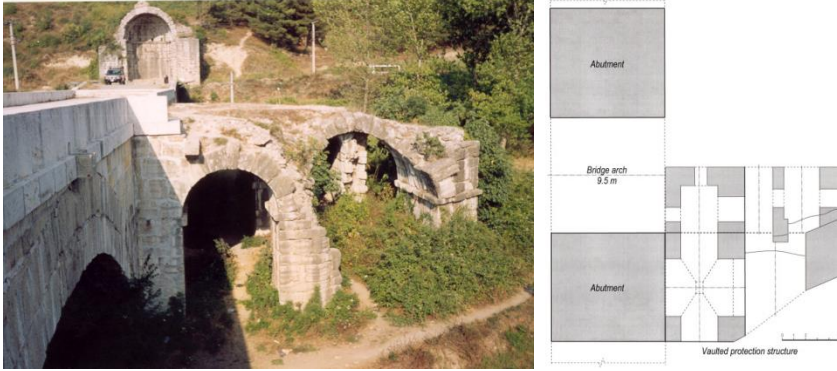
Köprü gövdesinin doğu ucunda, kesme taşlarla tonozlu tarzda, gövdeden ayrı olarak inşa edilmiş ek yapılarıdır. Bu yapılar ana gövdeden sonra inşa edilmiş, kısmen bozulmuş, temelleri ve gövdenin büyük kısmı zemine gömülü haldedir (Şekil 7). Whitby, (1985) güneydoğu uçtaki ek yapıların güney-kuzey yönündeki nehir akışını düzenlemek ve akışın köprü gövdesine vereceği zararları azaltmak için inşa edildiğini belirtmektedir. Nehir yatağının batıda sığ, doğuda ise daha derin olduğu göz önünde bulundurulursa, kuvvetli akıntının köprü temellerini oyulmaya zorlanacağı, bu yapıların da hem çok sayıda sütunları ile suyun enerjisini azalttığı hem de nehir akışını büyük gözlere doğru yönlendirerek köprü güvenliğine olumlu katkı yaptığı söylenebilir (Şekil 7).



Şekil 5. Köprünün batı ucundaki zafer takı temelleri ve doğu ucundaki apsisli yapı



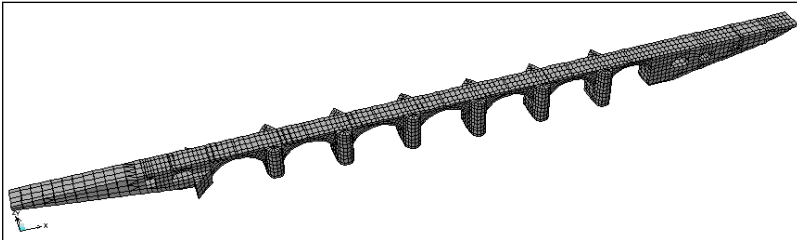
Şekil 6. Zafer Takı ve Apsisli Yapı planları



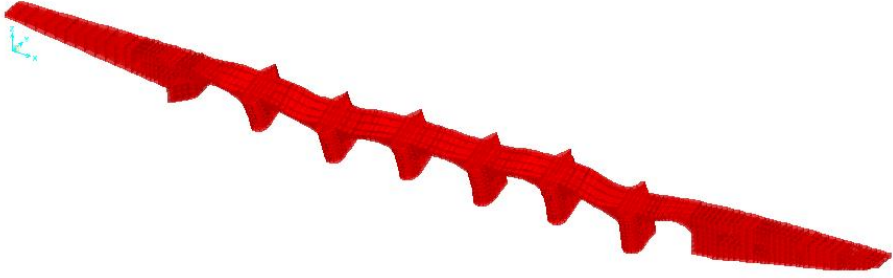
Şekil 7. Köprü'nün güney-doğu ucundaki tonozlu ek yapıların görünüş ve planları

Sonlu Eleman Modeli ve Dinamik Analiz

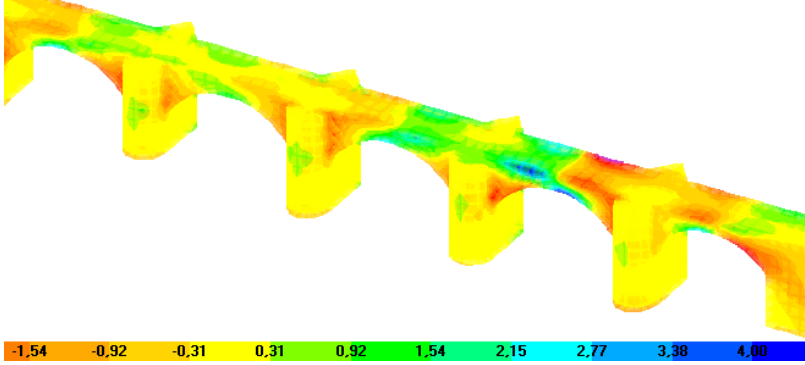
Taş örgü yapılar bilindiği gibi taşlar ve aralarında bağlayıcı harçlar ile inşa edilen homojen olmayan yapılardır. Malzemeyi temsil eden eşdeğer malzeme parametrelerinin belirlenmesi analizlerde büyük kolaylık sağlamaktadır. (Anthoine, 1997, Lourenço, 2002). Ural ve diğ. (2008), Doğangün ve Sezen (2012), Branco ve Guerreiro (2011), Oliveira ve Lourenço (2004) gibi pek çok araştırmacı tarihi yığma yapıların dinamik davranışı ve güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan malzeme parametreleri yapıya ait taş ve bağlayıcı numuneler üzerinde yapılan basınç testleri sonuçları ile benzer yapılar için verilen değerlerin birlikte yorumlanmasıyla belirlenmiştir (Özcan, 2006). Yapının dinamik analizleri sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Köprü gövdesinin 3 boyutlu modeli SAP2000 (2013) programı ile 8 düğüm noktalı 5716 katı eleman kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 8). Serbest titreşim analizlerinden yapının ilk üç serbest titreşim periyodu $T_1=0.137$ s, $T_2=0.130$ s, $T_3=0.123$ s olarak hesaplanmıştır. Mod biçimleri köprü eksenine dik doğrultuda ve yatay salınımlar biçiminde ortaya çıkmaktadır. Zaman Tanım Alanında yapılan analizlerde 1999 Marmara Depremi SKR ivme kayıtları kullanılmış, hesaplanan en büyük yerdeğiştirmeler Şekil 9'da, en büyük gerilmeler de Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 8. Köprü gövdesinin 3 boyutlu sonlu eleman modeli



Şekil 9. Yer hareketinden oluşan en büyük yerdeğiştirmeler ($t=7.50$ s.)



Şekil 10. Köprü gövdesinde oluşan gerilme dağılımı (σ_{11}) ($t=7.50$ s.)

Zamana bağlı çözümlerden 7.50 s'de, en büyük yerdeğiştirme 25 mm, en büyük basınç gerilmesi 4.50 MPa olarak doğu ucundaki ikinci büyük kemerde elde edilmiştir (Şekil 9, 10). Çekme gerilmesi için ise kemer ortasında 2.50 MPa değeri elde edilmiştir. Bu tür yapıların basınç dayanımları yüksek olduğu halde çekme dayanımları oldukça düşüktür. Bu gerilme durumu küçük bir bölgede ve çok kısa bir zaman aralığında ortaya çıkarsa da köprü güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu yüzden, yığma yapılarda çekme bölgeleri özenle incelenmelidir.

Köprü Gövdesinde Gözlenen Hasarlar

Köprü gövdesinde ki hasarlar incelendiğinde homojen bir dağılımın olmadığı, farklı türde ve seviyede hasarların olduğu gözlenmektedir. Bu hasarları çevre/iklim şartlarından kaynaklanan hasarlar ve insan eli ile yapılan müdahaleler olarak iki gruba ayırmak mümkündür.

Bu tür kütlevari yapılarda yapısal hasar oluşturan en büyük etki depremlerdir. Bu yapı da 1450 yılı aşan ömrü boyunca pek çok depreme maruz kalmış ve günümüze kadar ulaşmıştır.

Köprü gövdesinde yapısal hasarların en belirginini gövdenin doğu ucunda ki 22 m açıklığındaki ikinci büyük kemerededir (Şekil 11). Hasarlar aşırı gerilmelerden kaynaklanmış ve kilit taşında önemli malzeme kayıpları, köprü döşemesinde bozulmalar olarak ortaya çıkmıştır. Hasarın oluş zamanı tam olarak belirlenememekle birlikte 1995 onarımından önce meydana geldiği ve onarıldığı görülmektedir. Onarımı beton ve $\Phi 12$ donatı çubukları kullanılarak yapılmış ancak bu uygulama da 1999 Marmara depreminde bozulmuştur (Şekil 12). Şekil 10'da verilen dinamik analiz sonuçlarında görülen en büyük gerilmeler ile Şekil 11'deki hasarlı bölge tam olarak örtüşmektedir.



Şekil 11. İkinci kemer alt yüzü ve üst yüzünde belirlenen bozulmalar



Şekil 12. İkinci kemer alt yüzünde yapılan onarım ve bozulmalar



Şekil 13. Güney ve kuzey cephelere yerleşen bitki kolonileri ve ağaç kökleri

Köprü gövde duvarlarına yerleşen bitki toplulukları hatta küçük ağaç kökleri gövde içine uzanarak hasarlara neden olmaktadır (Şekil 11, 13). Köprü gövdesi ve ek yapılarda gözlemlenen hasarlar depremler, bozucu çevre şartları, iklim şartları ve malzeme yapısına bağlı olarak gelişmiştir. Isınma-soğuma, yüzeysel suların bünyeye girmesi ve donma-çözülme gibi dış etkenler ile bozulmalar meydana gelmektedir. Bu hasarlar; toptan veya kısmi göçme, düşey çatlaklar ve ayrılımlar, yatay derzler boyunca hareketler ve malzeme kayıpları şeklinde gruplandırılabilir.

Hasarların belirlenmesi ve sınıflandırılmasında ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS) tarafından hazırlanan “*Illustrated glossary on stone deterioration patterns*” de verilen tanımlamalar ve sınıflandırmalar kullanılmıştır (ICOMOS-ISCS, 2008).

Toptan veya kısmi göçme

Başta depremler, çevre şartlarının etkisi ve insan eli ile yapılan değişik amaçlı müdahaleler sonucunda apsisli yapı ve tonozlu ek yapıda kısmi ve toptan göçmeler gözlenmektedir (Şekil 5 ve 7). Tonozlu ek yapının tabanında yapılan kazılar, gövdeden taş malzeme alınması, yağmur ve kar sularının yapı içinde ilerlemesi gibi nedenlerle bozulmalar meydana gelmiştir.

Düşey çatlaklar ve ayrılımlar

Dış etkenlere bağlı olarak kemerlerin iç yüzeylerinde düşey doğrultuda milimetre boyutunda çatlaklar yer yer de santimetre boyutuna yaklaşan ayrılımlar gözlenmektedir. Bu ayrılımların düşey derzleri takip ederek ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 13).

Derz boşalması

Daha çok apsisli yapı ve tonozlu ek yapıda görülmektedir. Köprü gövdesinde boşalan derzlerin çimento harcı ile doldurulduğu bunların da zamanla çatlayarak bozulduğu görülmektedir.

Malzeme kayıpları

Malzeme kayıpları, birbirine temas eden köşelerde ve kenar boyunca taş parçalarının yonga şeklinde koparak ayrılması (kesit azalması) olarak gözlenmiştir. 100-150 mm derinliğe varan kayıplar tespit edilmiştir (Şekil 13). Taş yüzeyinde düzensiz şekil ve farklı boyutlarda yerel boşlukların (alveoller) oluşması şeklinde oluşan malzeme kayıpları çok düşük seviyededir. Aşınma/erozyon taşın fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki heterojen (homojen olmayan) dağılımdan ortaya çıkan bir ayrışma türüdür. Bu olgu daha çok sert ve boşluklu alanları birlikte bünyesinde barındıran heterojen yapıdaki kaya bloklarında (sedimanter ve volkanik kayalar) ortaya çıkmaktadır (Özcan, 2012).

Vadinin doğu yamacından geçen demiryolu hattı literatürde belirtildiği gibi köprünün bir gözünden değil, köprü gövdesi bozularak açılan 4.50 m genişliğindeki bir geçitten geçmektedir (Şekil 14). İyi bir taş işçiliği ve betonarme bir tavan örtüsü ile yapılsa da köprüye yapılan en büyük müdahale bu geçittir. Köprü döşeme kaplamaları, değirmen kayası yapmak veya başka ihtiyaçlar için söküldüğünden döşeme orijinalliğini büyük ölçüde kaybetmiştir (Şekil 11, 14). Görevini yapamayan döşeme kaplamaları ve yetersiz drenajdan dolayı yağmur ve kar sularının köprü gövdesine girdiği, dolguyu yumuşattığı ve yüzeylerde nemlenmeler şeklinde ortaya çıktığı gözlenmektedir (Şekil 11, 13). Buluntu aramak için yapılan bilinçsiz ve kaçak kazılar ve ziyaretçilerin yaptığı resimler/yazılar insan eli ile yapılan tahribatlar olarak sıralanabilir.



Şekil 14. Demiryolu geçidi ve ziyaretçiler tarafından yazılan yazılar

Onarım ve Güçlendirme Önerileri

Önerilen onarım ve güçlendirme yöntemleri köprü gövdesinde, tonozlu ek yapılarda ve apsisli yapıda daha önce belirlenen hasar türlerine göre verilmiştir.

Yüzey ve Cephe temizliği

Köprü gövdesi ve diğer yapıların cephelerinde yerleşen bitkiler ve ağaçlar temizlenmeli, derz aralarındaki ağaç kökleri özenli şekilde çıkarılmalıdır. Yapının yakın çevresindeki makiliğe dönüşmüş alan da temizlenmeli ve biyolojik ilaçlama yapılarak yakın zamanda olabilecek bitki istilalarının önüne geçilmelidir. Duvarlara yazılan yazılar, dolgudan sızan suların bıraktığı izler, kireçlenmeler ve farklı sebeplerden oluşan kararmalar basınçlı su/kumlama yöntemi ile temizlenmelidir. Esaslı bir çevre temizliği ve çevre düzenlemesi de gereklidir. Özellikle tonozlu yapının ve köprü ayaklarının çevresindeki moloz yığınlarının temizlenerek rahat dolaşılabilir yürüme yolları, çevre düzenlemesi ve sosyal mekanlar oluşturulmalıdır.

Yeni yapım

İkinci büyük kemer ortasında görülen kilit taşındaki bozulma için yeniden yapım önerilmiştir. Bu uygulama için, hasarlı bölgede döşeme kaplaması ve dolgunun kaldırılması ilk adım olmalıdır. Bu açıklıkta köprü ayakları karşılıklı olarak desteklenmelidir. Kemer altına yerleştirilecek kalıp, iskele ve yük krikoları aracılığı ile kemer yüklerinin alınması ve hasarlı elemanlarının değiştirilmesi sırasını izlemelidir. Mevcut yapının taş ve bağlayıcıları ile uyumlu yeni malzeme seçilmelidir. Sonrasında dolgu yapılıp drenaj şartlarını sağlayan yüzey kaplaması ve derzleri yapılmalıdır. Yüzey derzleri hidrolik esaslı bağlayıcı veya taş malzemenin bünyesi ile uyumlu genleşen tamir harcı ile yapılabilir.

Yatay Ankraj Uygulaması

İkinci büyük kemerde belirgin şekilde görülen, 20 mm'yi aşmayan düşey çatlaklar için paslanmaz çelik çubuklar ile sekiz adet yatay ankraj önerilmiştir. Bu yöntemin amacı çatlakların kapanmasını sağlamak değil ilerleyişini durdurmaktır. Önerilen uygulama adımları, i) kemer yan yüzlerine köprü tam genişliği boyunca silindirik yuvaların açılması, ii) açılan yuvalara grout harcını geçirgen özelliği olan kılıf boruların ve paslanmaz çelik çubukların yerleştirilmesi, iii) kılıf borunun içine düşük basınçlı grout harcının pompalanması, (kılıf boru duvar ile arasında yapısal bağ kuracak kadar geçirgenlikte olmalıdır), iv) paslanmaz çelik çubuklara tork anahtarı ile germe kuvvetinin uygulanması (kuvvet, çubuğu gergin hale getirecek kadar uygulanmalıdır), v) delik başlarının kapatılması şeklinde yapılmalıdır. Oliveira ve Lourenço, (2004) tarafından yapılan yatay ankraj uygulama adımları Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. Paslanmaz çelik çubuklar ile ankraj uygulaması Oliveira ve Lourenço, (2004)

Enjeksiyon uygulaması

Enjeksiyon işlemi, yapıya özgün mekanik özelliklerini kazandırmak için çatlak/boşluk içine uygun fiziksel ve kimyasal özellikte sıvı malzeme enjekte etmekten ibarettir. Enjeksiyon ile yapı içerisinde bulunan boşluklar ve çatlaklar doldurularak süreklilik sağlanır. Böylece yükler kesintisiz temellere aktarılır ve olası dökülmeler ve kayıplar engellenmiş olur. Kullanılacak enjeksiyon malzemesi yapıyı oluşturan mevcut malzemelerle uyumlu olmalıdır. Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri çatlak onarımları için en uygun ürünlerdir. Duvar içindeki boşlukları doldurabilmek için kullanılan malzemenin inceliği ve akışkanlık özellikleri gelişmiş olmalıdır. Mekanik özellikleri iyi olan ancak çözünebilen tuzlar içeren ve yüksek hidratasyon sıcaklığında çimento şerbeti ya da epoksi reçinelerinin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Bu yöntem, bu yapı için 10 mm'den küçük kaya çatlakları için uygulanacaktır. Büyük boyutlarda oluşan derz boşluklarını doldurmak için koyu kıvamlı enjeksiyonlar da uygulanabilir. "Derz boşalması" olarak tanımlanan hasar türü de bu uygulama ile onarılmalıdır.

Sonuçlar

Bu çalışmada, tarih ve kültür varlıklarına sahip çıkılması düşüncesi ile bu eserin gelecek kuşaklara aktarılması amaçlanmıştır. Elde edilen veriler köprünün zamanına ait bütün bilgi birikiminin kullanılarak inşa edildiği ve günümüze kadar ulaşabildiği sonucunu göstermektedir. Yapılan analiz sonuçlarından, yapının depremlere karşı güvenli inşa edildiği söylenebilir. Serbest titreşim periyotlarından ve yerdeğiştirme değerlerinden yapının oldukça rijit davranış gösterdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Önerilen yöntemlerle kemerlerin hareketinin duracağı, yakın tehlikenin ortadan kalkacağı, döşeme kaplaması ve derz dolgularının yenilenmesi ile gövdenin su ve bozucu etkilere korunacağı, yapılacak çevre düzenlemesi ile de ziyaretçilerin rahatlıkla dolaşabileceği ve tarihi eserlerin kullanılarak yaşatılması ilkesine de uygun hareket edilmiş olacaktır. Bu çalışma, ülkemizde tarihi yapıların yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve uygun korumanın yapılması alanında görülen eksiklerin giderilmesine yönelik bir adım olarak değerlendirilmelidir.

Kaynaklar

1. Ramsey, W.M., (1889) "*The Historical Geography of Asia Minor*", London. Çeviren: Mihri Pektaş, (1961), "*Anadolu'nun Tarihi Coğrafyası*", İstanbul.
2. Whitby, M., (1985) "Justinian's Bridge Over the Sangarius and the Date of Procoius' De Aedificiis", *Journal of Hellenic Studies*, 105, 129–148.
3. Özcan, Z., (2004) "Tarihi Sangarius (Sakarya) Köprüsü Üzerine Bir Çalışma", 6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi.
4. Özcan, Z., (2006) "Tarihi Sangarius (Sakarya) Köprüsü'nün Deprem Davranışı", 7. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
5. Can, K., (1988) "*1988 Yılı Jüstinyen Köprüsü (Beşköri) Kazısı Raporu*", İzmit Müze Müdürlüğü.
6. Anthoine, A., (1997) "Homogenization of periodic Masonry: Plane Stress, Generalized Plane Strain or 3D Modeling?", *Communication in Numerical Methods in Engineering*, 13, 319–326.
7. Lourenço, P.B., (2002) "Computations on historic Masonry Structures", *Prog. Structural Engineering Materials*, 4, 301–319.
8. Ural, A., Oruç, Ş., Doğangün, A., Tuluk, I. (2008) "Turkish historical arch bridges and their deteriorations and failures", *Engineering Failure Analysis*, 15, 43–53.
9. Doğangün, A., Sezen, H. (2012) "Seismic vulnerability and preservation of historical masonry monumental structures", *Earthquakes and Structures*, 3-1, 83–95.
10. Oliveira, D.; Lourenço, P., (2004) "Repair of Stone Masonry Arch Bridges", *ARCH'04, CIMNE, Barcelona*, 452–458.
11. Branco, M., Guerreiro, L., (2011) "Seismic rehabilitation of historical masonry buildings", *Engineering Structures*, 33, 1626–1634.
12. SAP2000 (2013) "*Structural Analysis Program*", v15.2, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA.
13. ICOMOS-ISCS, (2008) "Illustrated glossary on stone deterioration patterns", ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS).
14. Özcan, Z., (2012) "Divriği Kalesi: Hasar Değerlendirme ve Güçlendirme Önerileri", *International Science and Technology Conference, Dubai*.

Anahtar Sözcükler: Sangarius köprüsü, hasar belirleme, dinamik analiz, onarım ve güçlendirme, gergi çubukları.